



## 本会記事

# 第2回 ITER 国際夏の学校 (IISS-2008) ならびに第47回プラズマ若手夏の学校 開催報告

## 1. はじめに

九州大学において、プラズマ・核融合学会および国内外の機関と協力して、制御核融合エネルギーを開発する ITER の総理解をテーマとし、世界の大学院生や若手研究者に呼びかけ ITER 国際夏の学校が開催されました（筑紫キャンパスにて、7月22日から25日まで）。日本では初めての開催です。これは本学会の「第47回プラズマ若手夏の学校」と同時開催されたものです。

参加学生およびオブザーバーは136人（日本98名、韓国15名、フランス9名、ドイツ4名、中国3名、イギリス2名、インド2名、アメリカ・パキスタン・デンマークから1名ずつ参加）が10カ国より参加しました。講師は15名（5カ国および1国際機関からの参加）で、準備の行き届いた講義を体系的に説明しました（写真1）。

## 2. 経緯と目的

ITER サマースクールは、2007年7月プロバンス大学の主催のもとに第1回が開催されました。第1回目は「プラズマの乱流」に焦点を当てた先進的な理論が主題でした。第2回目は日本に誘致しようと、その折りに開かれた Steering Committee で九州大学での開催の承認を受けました。「ITER 時代に向かって核融合研究を総合的に理解する」ことが必要と考え、個別のテーマに限らず、「プラズマからトリチウムの閉じ込めまでを総括するトカマクの科

学」をスクールの課題としました。すなわち、ITER 時代を背負う若者達は、理論、シミュレーション、実験から装置のデザイン学、建設方法、組み立て技術など広汎な知識を持ちつつ、Nuclear System としての核融合炉を理解しなければならないと思ったからです。これからは、真の国際人として働くことと認識すること、その環境を経験することも目的としました。若い世代の自負と、自主性の涵養を図ることにも努めました。

さらに、ITER 時代の幕開けを機に、アジアにおける日本の役割を担うべく若者が育ち巣立つことの重要性を鑑み、プラズマ・核融合学会の「プラズマ若手夏の学校」と同時開催するという企画としました。これは本来、当学会の夏の学校の持つ「学生の主体的企画と運営」の精神に則り、それをさらに高度化・国際化するという学会の目的にもつながりました。

これらの企画は、運営委員会委員長であり ITER 機構長の池田要氏および機構長室、さらには本学会の強い支援を受け、実現の運びとなりました。

## 3. スクールの主題と方針

ITER 時代の核融合研究の進展は、1) 将来に引き継ぐ研究の進展は言うに及ばず、2) 核融合研究が真に核反応下におかれること、さらに3) 研究体制が国際協力で実施されることでしょう。ITER のミッションを果たすことを1



写真1：参加者集合写真。

つのゴールとした場合、研究目的とミッションを明確にすることが必要で、そのためには、集積された正確な知識が必要です。それをもとに ITER が設計され、建設が始まり、研究計画が練られます。これらの確かなステップのもとで実験がなされ、事実の確認や新しい発見、新たな挑戦が生まれ、それを解明し必要とされる炉心を作ることで ITER のミッションが成し遂げられるのです。第2回 ITER 国際夏の学校 (2008) の提供するものは、問題を解決する知識、広い立場から見た各個人の研究の位置づけ、研究課題を設定するために必要な構成員、それらを世界超一流の講師から直接学び、かつ自分自身でセッションを企画するという主導性を身につけることです。これらを ITER の文化の中に参入するという経験から同時に学ぶというものです。

スクールの目的を明確にするために、講義体系を以下の様に構成しました。まず、ITER のミッションを提示し、今までの50年を振り返った理論、実験、シミュレーションなどの知識の最先端を示す。研究成果の実績により可能となった ITER の設計方針の基本概念といきさつ、建設のための実際の設計活動とその現状を明らかにする。ITER には欠くことのできないトリチウム反応の全体像と放射性元素としての問題、さらには法規制と実験計画へのインパクトを学ぶ。また、トカマクに限らず、相補的な研究からの

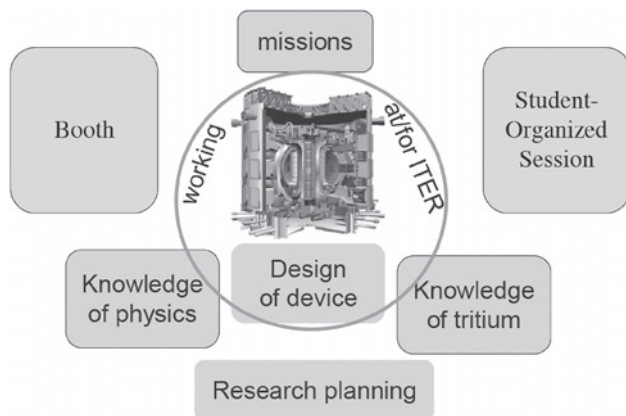


図1：講義の内容の体系。

最先端の知識が抽出されることを学び、かつ ITER の研究計画についての最新の情報も得る。さらには、ITER で(のために)働くための実情や知識を ITER 機構自体から聞くという講義も組み入れました。(図1)

講義に加えた企画としては、ブースを設営し、特に ITER ブース、ITER BA ブース、九州大学応用力学研究所および総合理工学府のブースの展示、および就職説明も行いました。さらに特別企画として学生委員会の企画によるグループ・ディスカッション、池田機構長、石坂 ITER 機構理事会秘書室長を囲んでのTalk-in、ポスターセッションなどを組み入れました。

講義は九州大学の正規のコース(集中講義)として承認され、しかるべき学術交流協定のある大学とは、単位が互換できるようにしました。単位認定のために、講義の出席およびレポートの提出が義務づけられ、スクール終了時には、合格者に修了証書が手渡されました。またポスターセッションに付随してポスター賞が授与されました。

#### 4. 実施内容

スクールは、7月22日の開校式における、九州大学梶山総長並びに来賓の辞から始まり、スクールの主旨説明の後から、表1に示す講義が行われました。講義内容は ITER



写真2：開会式の様子。

表1 講義リスト

| Lectures |                                                                                 |                                 |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| L01      | Mission of ITER and Challenges for the Young                                    | K.Ikeda (ITER)                  |
| L02      | The basis of ITER confinement                                                   | F.Wagner (IPP)                  |
| L03      | Introduction to theory of confinement                                           | X.Garbet (CEA)                  |
| L04      | Work at/for ITER                                                                | S.Ishizaka (ITER)               |
| L05      | Computer simulation of plasma confinement in the ITER era                       | C.S.Chang (NY Univ.KAIST)       |
| L06      | Design Studies and Plasma Confinement                                           | T.Tsunematsu (JAEA)             |
| L07      | ITER Construction -Plant System Integration                                     | E.Tada (ITER) /S.Matsuda (JAEA) |
| L08      | Tritium management in a fusion reactor -safety, handling and economical issues- | T.Tanabe (Kyushu Univ.)         |
| L09      | Tritium retention and removal in tokamaks                                       | C.Skinner (PPPL)                |
| L10      | Experimental Achievements in Plasma Confinement and Turbulence                  | A.Fujisawa (NIFS)               |
| L11      | Basis Research of Tritium Confinement at JET                                    | D.Campbell (ITER/EFDA)          |
| L12      | Complementary Study                                                             | H.Yamada (NIFS)                 |
| L13      | Integrated Modeling of Burning Plasmas                                          | A.Fukuyama (Kyoto Univ.)        |
| L14      | Summary                                                                         | K.Itoh (NIFS)                   |



写真3：講義室風景。



写真4：講義風景（チューター）。

に即したもので世界最先端のものです。（写真2, 3, 4）

特別企画のブースの展示がITER, ITER BA, 九州大学の活動についてあり、数多くの学生が訪問していました（写真5, 6）。また今回の特別企画であり、プラズマ・核融合学会第47回プラズマ若手夏の学校の内容は、初日の夕食会のさなかに行われた池田機構長を囲んでのスペシャルトーク・イン（写真7, 11）、2日目の理論、実験、シミュレーション、ITERに分かれた少人数のグループディスカッション（写真8, 12）、および学生のポスター発表（写真9）等があります。それらについては、学生の企画委員会からの報告がありますので、それを参照してください。全アクティビティは予想を越えた活気あふれるもので、遠来の講師の方々も絶賛していました。

最後の講義として、異例のサマリーを設け、復習ができる工夫もしました。閉校式には、ポスター賞の選考委員 F. Wagner 教授（現欧州物理学会会長）のもとでポスター賞（Dr. 渡辺文武氏、核融合研）および優秀賞（西村征也氏、九大、間宮裕子氏、九大）の授与が行われ、また全過程を終了した学生には修了証書が手渡されました。（写真10は閉校式の光景です。）

閉校式後も、会場のビルの周りに修了学生が引き続き残って、皆との別れを惜しんでいたのが印象的でした。

なお、今回の講義録は、American Institute of Physics より刊行される予定です。

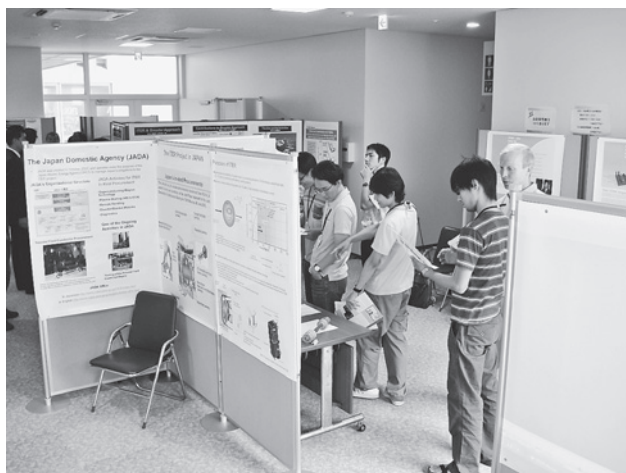


写真5, 6：ブースの光景。



写真7：池田機構長を囲んで（学生企画）。

## 5. スクールを終えて

日本での第2回ITER国際夏の学校は成功裏に終わり、第3回目はまたプロバンス大学での開催に戻ります（隔年にプロバンス大学）。テーマは「Plasma surface and interaction」で、2009年6月22日～26日まで開催される予定です。今回の合同開催によって、かねてよりプラズマ・核融合学会が開催してきた「プラズマ若手夏の学校」を初めて国際的の学校として開催いたしました。「プラズマ若手夏の学校」



写真8：グループディスカッション風景。



写真9：ポスター発表会場風景。

の高度化にも大きな一歩が得られたと思います。また、第48回プラズマ若手夏の学校は、今回の進展を受け、講義レベルの高度化と国際化を引き続き行うことが、執行部案として決まりました。詳細は今後学会の理事会等で議論され、来年度に引き継がれる予定です。

核融合装置を学ぶには、総括的教育プログラムを開発する必要があります。この夏の学校では核融合炉の総合的理解が深まります。この夏の学校は総括的教育プログラムの



写真10：閉校式。

基盤となりました。また、学生セッション等を通じて、海外の学生と我が国の学生がともに企画し学ぶことで、学生自らが、国際的視点で研究研修活動をする力を強める事が期待できます。今回の夏期学校に参加した若手の中から、将来のリーダーが国際的に切磋琢磨しつつ育つことを期待します。

この夏の学校を一過性ではなく継続的な国際的人材育成プログラムとするため、九州大学では国内外の機関と協力して国際的学術研究教育の展開を押し進めています。九州大学は昨年10月に核融合科学研究所、大阪大学、フランス国立科学研究センター、プロバンス大学と共同で「磁場核融合に関する国際連携研究センター」を開設しています。また、ドイツ、アメリカと学術交流協定を締結しプラズマ物理・核融合科学分野の交換講義や大学院生の相互受け入れ等を実現するなど、国際協力によって当該分野の推進にあたっています。このように、ITERへの学術的寄与や人材の輩出を展開していきます。

このスクール開催にあたっては、九州大学P&Pプログラム「国際交換講義及び国際ファカルティーディベロップメントによるグローバル教育システムの構築」、浅田榮一研究奨励金事業、プラズマ・核融合学会、核融合科学研究所「分野間連携による国際的研究拠点形成事業」ほか国内外の多くのご援助をいただきましたことに感謝いたします。また、筑紫キャンパス食堂「ゾンネ」（太陽）さんには、懇親会や昼食などでお世話になりましたことを感謝します。ご支援をくださった皆様にこの場を借りて御礼申し上げます。

（文責：伊藤早苗）

（原稿受付：2008年8月16日）

## 学生企画の立場から

学生企画委員会 九州大学大学院総合理工学府伊藤研究室 鎌滝晋礼

2008年7月22-25日の4日間、第2回ITER国際夏の学校(IISS2008)と第47回プラズマ若手夏の学校が今年度の当番校となった九州大学、筑紫キャンパス（福岡県春日市）にて同時開催された。今回の夏の学校において、学生は136名（10ヶ国）、講師は15名（5ヶ国、1国際機関）の参加者が集まった。会議全体の内容は伊藤早苗夏の学校委員長による報告書をご覧いただきたい。今回、ITER国際夏の学校

では、実行委員の先生方のご協力の下、プラズマ若手夏の学校において長年築かれてきた学生企画を初めて組み込んだ。本報告では学生企画に焦点を当て報告する。

約10年後ITERで20年間に及ぶ本格的な核燃焼実験が開始されることを考えると、若手研究者の研究者として成長が必要だと学生の立場からも感じた。そこで、今年の第47回夏の学校はITER国際夏の学校との共催でもあるので、

これを機会に、世界に通用する、また、世界規模の問題に取り組むことのできる研究者として成長できるきっかけになればと思い、学生企画の策定に際しては以下の意見を重視した。

- (1) ITER を(ここ日本では特に)身近に感じる機会は非常に少ない。そこで、ITER で実際にプロジェクトを推進されている方々と交流し、ITER で働く、ITER のために働く、とはどのようなことか知りたい。
- (2) ITER の成功には優秀な科学者が必要である。核融合プラズマの世界で活躍される先生方と接し、科学者としての姿勢を学びたい。
- (3) ITER は国際プロジェクトであり、各国の協力が必要である。そこで、国を越えた同世代の若手研究者間のネットワークを作りたい。

これらの意見を反映し行われた学生企画は以下の3つである。

- (A) 池田 ITER 機構長を囲む会
- (B) グループディスカッション
- (C) ポスターセッション

これらを計画し実施するために、学生企画委員会(コメンパー6名)を発足させ、学生の参加呼びかけからポスターセッションのプログラム作成まで行った。それぞれの企画の概要を記す。

#### (A) 池田 ITER 機構長を囲む会

初日の Joint Dinner の中で池田 ITER 機構長と石坂 ITER 機構理事会秘書室長を招き学生との交流会を開いた。事前に夏の学校参加者には知らせず、当日のサプライズイベントとしたが、学生約21名が参加し関心を集めた(写真7, 11)。学生からは、ITER で働く人の女性の比率、ITER の雇用に関してやプロジェクトを推進する上での苦労、また、機構長、室長のこれまでの歩みなど様々な質問がなされ、機構長、室長ともに丁寧に答えていただいた。そのやりとりの中で印象的であった一例を紹介する。学生からの今どんな夢を持っていますか、という質問に対して、池田機構長は、数年前まではほとんど参加者がいなかった ITER



写真11: 池田機構長を囲む会の様子。

計画が、多くの協力国・協力者の下、現実に可能な段階までくることができたので、まずこの計画を成功に終わらせ、さらに次の DEMO 炉計画まで実現させることである、と熱い思いを語られ、石坂室長からは、ITER という新しい装置に自分が参加できていること自体夢のようで、この計画にさらに多く若者が参加し、実際に働くのを目にすることが夢です、と我々学生へのエールをいただいた。池田機構長と石坂室長からは ITER プロジェクトを世界各国協力して推進していく難しさと、各国が協力することはすばらしいことだとプラスに捉え、越えていこうとされている力強さに感動した。大きなプロジェクトを推進する人は、そのプロジェクトの意義を常に持ち続けることが重要であると感じた。会はディナーの途中からではあったが、学生達は真剣な眼差しで機構長、室長を見つめ、一語一語に耳を傾けていた。

#### (B) グループディスカッション

グループディスカッションは、2日目の午後16時より約1時間の予定で参加希望者45名は4つの分野(ITER、実験、理論、シミュレーション)に分かれ議論を行った。それぞれのグループに、夏の学校の講師の先生方にチューターをお願いした。若手研究者にとって世界第一線で活躍されている研究者を見習いたい、という思いがありこのチューター制は実現された。ディスカッションの内容は研究者としての心得のようなものから具体的な物理的問題など様々であった。各分野でのディスカッションの内容を紹介する。

##### ・ITER グループ

ITER グループでは参加者が ITER プロジェクトに興味が高く活発に議論が行われた。チューターに D. Campbell 先生(ITER 機構)と松田慎三郎先生(原子力機構、プラズマ・核融合学会会長)、ティーチングアシスタントに山田琢磨先生(東大)を迎えた。14名(7カ国)の参加者の質問に対して ITER に関してスペシャリストである2人のチューターが解答するという形式で進み、議論は ITER を取り巻くさまざまな問題に及び、ITER 関係者の生の声を聞く有意義な場となった。質問は主に ITER の建設、ITER への就職、DEMO 炉に向けての理論研究など多岐にわたったが、2人のチューターにより適切にそして丁寧に学生に返答がなされた。最後に学生へのメッセージとして、1. ITER の内部でなくても、何かしらの形で ITER に携わることが重要、2. ITER サイトに実際に訪れることで、ITER で何が起きているかを肌で感じ、新たなアイデアを得ることができる、3. そのアイデアを下にそれぞれの研究機関で、ITER における課題に貢献してもらいたい、との言葉をいただいた。また、1時間超で終了はしたが、その後もチューターの先生と議論を続ける学生もあり、積極的な議論が行えた。その学生はなんとか ITER に貢献したいと目を輝かせていた(写真8)。

##### ・実験グループ

実験グループは、チューターに F. Wagner 先生(マックスプランクプラズマ物理研究所、ヨーロッパ物理学会会

長)と藤澤彰英先生(核融合研), ティーチングアシスタントに永島芳彦先生(東大)を迎え, 5カ国16名の参加者で行われた。参加者は, 基礎プラズマ現象からプラズマと壁との相互作用まで幅広い研究テーマを持っていたが, 自分の研究に対するアイデアや様々な経験をしてきたチューターの先生方から研究者として何かを学ぼうと積極的に質問が順々になされた。チューターの先生方には丁寧に質問に答えていただき, 予定の一時間を少し越えて終了した。学生からチューターになされた質問として, なぜ研究に興味をもったか, トカマクとステラレータについて, 実験にてHモードの最初の発見について, ゾーナルフローを実験的に同定したことについて, どのようにITERのプラズマにおいて密度プロファイル等を制御し, プラズマを維持するか等が挙げられた。その中で, F. Wagner 先生がHモードの発見に対して答えた言葉の中で, 「あなたたち若い研究者には, 革新的発見ができる潜在能力がある。」と力強く言っていたことに勇気もらった。そしてまた, 最後にこれらの若手研究者に1.英語をしっかりと学ぶこと2.国際会議等に出席して, 積極的にためらわずどんどん質問すること, とアドバイスをいただいた。当然のことであると思われるが, しっかりと実践していきたいと思った。

#### ・理論グループ

理論グループは, チューターにX. Garbet 先生(CEA Cadarache), ティーチングアシスタントに糟谷直宏先生(核融合研)を迎え, 学生8名(4カ国)終始なごやかな雰囲気の中, チューターのレクチャを中心に活発な意見交換が行われた。まず, Hasegawa-Wakatani (H-W) 方程式が最初のトピックとして取り上げられた。X. Garbet 先生によるH-W方程式についてのイントロダクションから, 用いられている仮定や表現される物理に関する詳細な話をしていただいた(写真12)。次に, 乱流の定義について議論が行われた。多自由度系であること, レイノルズ数による分類, カオス系との関連性, 予測不可能であること, 初期値敏感性, システム・サイズに対する相関距離の大きさなど様々な意見があり, チューターによる示唆を中心に, それについての詳細な議論がなされた。さらに, Gyro-Kinetic シ

ミュレーションの適用範囲について, Toroidal Spin-up に絡めて, 磁気面上での inhomogeneity についての質問・議論があった。全体を通して, 扱われたトピックは多くなかったが, X. Garbet 先生から一つ一つのトピックを親切丁寧に説明していただき, 専門外の学生にも非常にわかりやすいものであった。Theory グループでは, X. Garbet 先生の好きなだけ続けてよいというご配慮から, 2時間に及ぶ活発な議論が行われた。途中から興味を持った学生が飛び入りするほどであった。終了後, X. Garbet 先生や他の学生と交流を深め, 刺激を受けることができてよかった, 今後に生かしたいという学生からの意見が挙げられた。

#### ・シミュレーショングループ

シミュレーショングループはC. S. Chang 先生(NY大/KAIST), 福山淳先生(京都大)をチューターに, 登田慎一郎先生(核融合研)をティーチングアシスタントに迎え, 7ヶ国から参加した学生10人により行われた。学生らの研究テーマは, トカマク装置とヘリカル装置のコア領域・エッジ領域など多種多様な現象を扱っており, またそのシミュレーション手法もGyro-kinetic, Gyro-fluid, Particle In Cell, Fokker-Planck モデルなど多岐に亘るものであった。議論の多くは計算資源の制約や計算速度の向上と考慮すべきダイナミクスとのバランスに関するものが中心となった。チューターらはフォーカスする現象によって考えるべきものが異なるこれらトレードオフな問題に対し, 一概には解答できないことを初めに示した。その上で, 個別の質問に対する物理的側面からの丁寧な解説を行っていた。学生らはこの機会にチューターからそれぞれの研究について存分にアイデアを得ようと食欲にタイミングを捉えて質問を行い, 1時間超にわたってほとんど途切れることなく具体的内容の議論が持たれた。議論の一例として, 学生から前の時限に行われたP. Diamond 先生らによるチュートリアルの中で触れられたfull-f Gyro-kinetic シミュレーションにおける熱流束固定の必要性についての質問がなされ, C.S. Chang 先生はこれに関わる自らの研究も含めた現在の研究が内包する問題点について率直な解説がなされた。終了後, 参加した学生からは, シミュレーショングループではあったが, 理論や実験の分野に重なる話もあり, 他のグループのディスカッションにも参加してみたかったし, 他分野にも興味が掻き立てられた, という意見を聞くことができた。

どのグループにおいても個別の議論の内容は質問者本人にはもちろんのこと, 聞いている者にとっても示唆に富む有意義なものであった。学生間の議論時間が少なかったことが反省点であるが, 学会・国際会議等の雰囲気とは異なり, 世界一流のチューターのどの方々もごっくばらんですばらしい機会が過ごせた。また, 非常に教育的な対話を中心に, 若手研究者らに対して問題の整理や成長を促す内容であった。今回の議論の内容と参加者の繋がりが, ITER計画をはじめとした核融合研究全体とその将来に亘って多くの実りをもたらすことと期待してもらいたい。ディスカッションに参加した学生から, とても有意義だったという感想を多数いただけたのが何より嬉しかった。



写真12: グループディスカッションの様子(理論グループ)。



写真13：ポスターセッションの様子。

### (C) ポスターセッション

自分の研究を、世界で活躍される先生方や、また同世代の研究者に見てもらい議論したいという学生からの声により実現したポスターセッションは7カ国49名の参加者で3日目の午後に行われた（写真9,13）。また、ポスター賞が設けられ、選考委員（F.Wagner 先生，D.Champbell 先生，藤澤彰英先生，X.Garbet 先生，C.S.Chang 先生）によるポスター審査があり、緊張した雰囲気が漂う中、活発な議論が行われた。ポスター賞は、渡辺文武氏（核融合研），優秀賞に西村征也氏（九大），間宮裕子氏（九大）が選ばれた。すべて日本人であったことは喜ばしい限りである。選考委

員長から授賞式の時に全体的にレベルの高い研究が多かったとのコメントをいただいた。学生同士での研究の議論も行われ、最終日までポスターの前で議論をしている学生も見受けられた。私自身も F. Wagner 先生にポスター発表を見てもらい、有益なコメントをいただき、今後の研究に生かしたいと思った。また、他のポスターを聞くことを通して、研究の裾野を広げるのはもちろん、その発表者とセッション後も交流できたこともよかったと思う。

夏の学校の学生企画を通して、参加した学生は、世界で活躍される先生方からも同世代の研究者からも刺激を受け、今後の研究生生活の糧と励みになったと思う。この夏の学校に参加した若手研究者が将来世界で起こっている問題について国と国とを結ぶ架け橋となり ITER プロジェクトや国際エネルギー問題に取り組み中心となって解決していってくれることを願う。今回このように、学生企画として学生の意見がほぼそのまま実現したのは、伊藤早苗委員長を始めとする現地実行委員会の方々に学生の意見をすべて実現化する手続きを惜しみなくしていただいたお陰である。また、この学生企画に協力してくださった国内外の先生方にも、この場をお借りして感謝申し上げたい。特に学生企画の現場運営にご支援してくださった矢木雅敏教授、稲垣滋准教授、および、協力してくださった九州大学伊藤研究室と矢木研究室のスタッフ、学生そして、学生企画の計画からこの報告書作成まで協力してくれた西村征也氏、徳永晋介氏、杉田暁氏、Aaron Froese 氏、荒川弘之氏に感謝したい。皆様のおかげである。