

会議報告

高輝度電子銃シミュレーション研究会報告

水野 明彦*1・増田 開*2

Report of Simulation Workshop on High Brightness Electron Gun

Akihiko MIZUNO*1 and Kai MASUDA*2

年の暮れも迫りつつある2006年12月7日、8日の2日間、京都大学宇治キャンパスにおいて高輝度電子銃シミュレーション研究会を開催した。

RF電子銃等の高輝度低エミッタンス電子源の詳細設計に関しては、ビームトラッキングシミュレーションコードが必須であり、既存のコードがPARMELAを代表格として多く使われている。しかし、コードごとに結果も違うという現状もある。これは、シミュレーションの手法が完成の域に達していないことを示しており、このため、自作コードを開発する方も多い。水野の所属するSPRING-8でも、RF電子銃のビームダイナミクス解析に自作コードを使用している。しかし、あまり、他のコードと比較検討したことがなかった。研究会の名目で比較できればよいな、と思ったのが事の馴れ初めである。

自作コードを用いてRF電子銃、FEL研究を推進している京大の増田に水野から共催を持ちかけ、初めて打ち合わせを行ったのが10月初旬。このときに、増田の提案で、単なる研究会ではなく、研究会終了後に各コード間の比較を行うベンチマークテストも行おう、ということになった。言わば、宿題付の研究会である。問題点を十分に議論したいということから、出来るだけ範囲を狭めて発表時間を多く確保するという方針とし、「RF電子銃とDC電子銃に関するビームシミュレーション、およびその関連技術を対象」とすることに決めた。研究会ホームページ、<http://acc-web.spring8.or.jp/~workshop/e-gun>に開催の趣旨を掲載しているので、そちらもご参照頂きたい。

APACや、大学等を考えると年度末の時期を避けたほうが賢明であろうとのことから、開催時期を12月初旬に設定した。しかし、準備期間が1ヶ月少々

しかなく、内心、このようなマニアックな研究会にどれだけの人が集まって頂けるか、少し危惧をしていた。したがって、範囲を限定するとは言うものの、直接声を掛けるという方針で積極的に参加者を集めることにした。結果、発表者は15名、参加者は約40名と盛況になり、当初予定した発表持ち時間を少々削ることになってしまった。

研究会プログラムは、研究会ホームページに掲載している。発表は、自作コードに関するもの、および既存コードに関するものの2つに大別される。自作コードでは、6件のトラッキングコードを含み発表が7件、既存コードに関する発表が4件、その他発表が4件であった。

羽島氏(JAEA)からは、各粒子のエネルギーが離散化されてしまう問題について、山本氏(名大)からは、NEAカソード面からエミッションされたビームのエミッタンス解析について、浜氏(東北大)からは、3次元FDTD法によるシミュレーションについて、増田(京大)からは、カソード近傍のエミッタンス精度の問題について、水野(SPRING-8)からは、カソード鏡像計算法の問題、エミッタンスの粒子数依存性の問題等が報告された。川口氏(室蘭工大)は、自作の航跡場数値解析法について報告した。また、既存コードの問題とも関連して、羽島氏より粒子初期分布の与え方とエミッタンスの粒子数依存性に関する問題、管氏(阪大)よりPARMELAのバージョンによる計算結果の違い(粒子エネルギーの離散化)等の発表があった。既存コードの発表としては、GPT, MAGIC, PARMELAを用いたシミュレーションの報告があった。楊氏(阪大)からは、実験とPARMELAの比較に関する話題が提供された。

*1 高輝度光科学研究センター
(E-mail: mizuno@spring8.or.jp)

*2 京都大学エネルギー理工学研究所
(E-mail: masuda@iae.kyoto-u.ac.jp)

通常、一般的な研究会でシミュレーションの手法等に言及することは稀である。それよりも、実際の実験結果に話を集中させることが多く、また、各コードの不具合等を報告すること自体が研究会にそぐわないとの雰囲気もある。今回の研究会では、このような話題についても活発に意見交換をすることができた。各コードの不具合、または成果等を、プログラミングのレベルまで遡って問題点を議論できたことは、大きな成果だと考えている。

また、この分野では研究者相互の交流が欠けていた嫌いがある。このため、パラメータの定義についても研究者間で一致していない場合があった。例えば、エミッタンスについて言えば、クーランシュナイダー不変量をエミッタンスとする定義は共通であるにしても、それを実際のビームに適用する際の方法がコード間でまちまちであるということである。このような基本的な問題を議論する場を提供できたことも、大きな収穫であったと思う。

7日の夜は、京都伏見で懇親会を行なった。酒蔵を改装した京都らしい古風な建物の店で、少人数だったこともあるが大いに盛り上がり、22時過ぎまで宴が続いた。

さて、本研究会のメインテーマは、各コードの比較検討のため、ベンチマークテストを行うことである。研究会ホームページにも記載しているテスト開催の趣旨は次のとおりである。

『電子銃に求められる生成ビームの高輝度化に伴い、その設計ツール、あるいは実験結果と理論との橋渡し役を担うシミュレーションへの要求は、より高度に、高精度になっています。しかしながら、一方で、既存のシミュレーション手法やコードがこれらの要求にどこまで応えられるのか、既存コードに「できること」「できないこと」が必ずしも正確に把握されていない現状があります。

このベンチマークの目的は、いくつかの課題について、広く用いられている PARMELA 等の既存コードも含めた様々な異なる定式化・数値手法を用いた複数コードの結果を比較・検討することで、各コードの問題点を明らかにし、各コード開発推進の一助となること、さらには、新たな計算手法・コードの開発の目標設定の契機とすることにあります。』

研究会閉会前に、上記趣旨に従ってベンチマークテ

ストの課題について打ち合わせ、次のように決定した。

1. シミュレーションコードの問題点が明らかになるような単純な系であり、かつ、解析的な近似解が得られるものを課題として設定する。
2. 実際の装置をモデルにシミュレーションを行い、実験との比較を行う。
 1. としては、予めあるエネルギーを持った円柱型の電子ビームを freespace でトラッキングし、transverse 方向および longitudinal 方向のビームサイズ、エミッタンス、および ΔE 等を比較検討する。
 2. としては、国内においての RF 電子銃として代表的な、阪大産研の BNL 型空洞を用いたシステム、および、DC 電子銃として代表的な、理研で建設中の SCSS 入射器をモデルに計算を行う。研究会において、楊氏（阪大）、新竹氏（理研 SCSS）にご了解頂いた。

1. で、コード間の違いを詳細にチェックした後、2. を行う。阪大のシステムと SCSS は、どちらの方式も将来の電子源として有望である。したがって、国内の複数のコードで計算を行うことにより、これら電子源の開発にとって大きなメリットとなる。それと同時に、2つのシステム間にはパルス長に大きな違いがある。阪大のような、10 ps 内外の短いパルスから、SCSS のような 200 mm 程度になる長いパルスまで計算するのはシミュレーションコードにとっても大変難しく、各コードの検証、および今後の開発指針を検討する上での足がかりになるものと考えられる。

1. の課題については、この報告を書いている2月末時点で既にベンチマークテストが始まっている。加速を伴わない基本的な問題にもかかわらず、特にエミッタンスについては各コード間の違いが見えており、その理由についても少しずつ検証されている。テストの様子は、どなたでも研究会のホームページで見ることができる。また、御興味のある方の参加も歓迎する。このように、研究会が終了した後も、一つのコミュニティを形成して相互に交流を図っていく手法は、研究会を単なる発表の場で終わらせることなく有効活用できる点で優れていると思われる。

今回の研究会をキックオフとして、更に研究者相互間の横の繋がりを深め、シミュレーションコードの質を高めていくためにも、ベンチマークテストの結果を持ち寄り、第2回の研究会を催したいと考えている。