コンファレンスレポート

第4回 IEEE Pulsed Power Conference
に出席して

藤 田 尚 徳*

Report on the Fourth IEEE Pulsed Power Conference

Hisanori FUJITA*

1. まえがき

この会議は、2年ごとに開かれる Pulsed Power に関する国際会議であり、今年は、6月6日から8日までの3日間、アメリカ、ニュー・メキシコ州アルバカーキーで開かれた。アルバカーキーは、ニュー・メキシコ州のほぼ中央に位置する近代的な都市ではあるが、先住民族である Pueblo Indian の文化とスペイン及びメキシコからの文化とが、近代文化に混在している独特な都市である。またアルバカーキーの近くには、Los Alamos National Laboratory, Sandia National Laboratories, Air Force Weapon Laboratory 等のアメリカを代表する研究機関が集まっている。

会場は The Regent ホテルに近接した Convention center であったが、主会場 (500名収容) と、3つの補助会場 (150名収容) を用いて行なわれた。

出席者は各国から集まっており、約500名程度であった。日本からは、慶応から藤岡先生他4名、及び筆者の計6名が参加した。

会議は午前中の1時間程度を Plenary Session にあて、その後4セッションに分かれて進められた。セッション数は36であり、Table I

に示されている。6日の昼食時に、Pulsed Power の父である Erwin Marx を記念した Erwin Marx Award の受賞式が行なわれ、Ian D. Smith, Pulse Science Inc. が、受賞した。7日の夜には、夕食会が、アルバカーキーのオールド・タウンで行なわれ、参加者の親睦が計られていた。またこのとき、楽しい Indian Dance を見る事ができた。

2. Keynote Address

最初の Plenary Session で、SNL (Sandia National Lab.) の G. Yonas が、Keynote Address を行なった。内容は、Pulsed Power 全体に及んではいたが、中心は、100TW イオンビーム発生装置 PBFA II (Particle Beam Fusion Accelerator) の開発に関連したものであった。PBFA II は、1986年に運転を開始する予定であり、100TW, 3.5MJ のイオンビーム発生を計画している。ダイオード電圧は、3MV から 27MV まで可変である。装置は、36モジュールから成るが、その1モジュールの構成を、Fig. 1 に示す。Marx は、6MV, 400kJ であり、油絶縁されている。Marx からの出力は、その後、3段階でパルス圧縮され、ダイオードへ導かれる。36モジュールの同期のため、Marx では、高電圧トリガを

* 大阪大学レーザー核融合研究センター (〒565 大阪府吹田市山田丘2-6)

* Institute of Laser Engineering, Osaka University (2-6, Yamada-Oka, Suita, Osaka 565)

Table I. 4th IEEE Pulsed Power Conference
THE REGENT, ALBUQUERQUE, NEW MEXICO

DAY/DATE	VIVA K	BALLROOM B	NAVAJO/NAMBE	
SUNDAY, June 5 5:00-10:00 PM	REGISTRATION (Foyer)			
MONDAY, June 6 7:30 AM-5:00 PM	REGISTRATION (Foyer)		BALLROOM A	
9:00 AM-9:15 AM	OPENING SESSION			
9:15 AM-10:00 AM	PLENARY SESSION I			
10:00 AM-10:30 AM	REFRESHMENTS - THIRD FLOOR			
10:30 AM-11:30 AM	I-ICF/FUSION I	II-MASS DRIVERS I	III-DIFFUSE DISCHARGE OPENING SWITCHES I	IV-EMP GENERATORS
11:30 AM-2:00 PM	ERWIN MARX AWARD LUNCHEON - BALLROOM C			
2:00 PM-3:15 PM	*V-ICF/FUSION II	VI-MASS DRIVERS II	VII-DIFFUSE DISCHARGE OPENING SWITCHES II	VIII-EXPLOSIVE PULSERS/ FLUX COMPRESSION
3:15 PM-3:45 PM	REFRESHMENTS - THIRD FLOOR			
3:45 PM-5:45 PM	IX-INDUCTIVE PULSE POWER AND FUSES	X-THYRATRON APPLICATIONS	XI-SPARK GAPR I	XII-CAPACITOR BANKS
TUESDAY, June 7 8:00 AM-5:00 PM	REGISTRATION (Foyer)		BALLROOM C	
8:30 AM-9:30 AM	PLENARY SESSION II			
9:30 AM-10:00 AM	REFRESHMENTS - THIRD FLOOR			
10:00 AM-12:00 AM	XIII-GASEOUS U BREAKDOWN I	XIV-MAGNETIC SWIT HING	XV-MODULATORS AND POWER SUPPLIES	XVI-DIAGNOSTICS/ OPTICAL
12:00 AM-1:00 PM	LUNCH			
1:00 PM-3:00 PM	XVII-WATER DIELECTRICS	XVIII-PLASMA OPENING SWITCHES	XIX-HIGH AVERAGE POWER SYSTEMS	XX-DIAGNOSTICS/ ELECTRICAL
3:00 PM-3:30 PM	REFRESHMENTS - THIRD FLOOR			
3:30 PM-5:30 PM	XXI-HOMOPOLAR GENERATORS AND INDUCTIVE STORES	XXII-GASEOUS BREAKDOWN II	XXIII-DIODES AND TRIODES	XXIV-MISC CONCEPTS/ LIGHT SOURCES, BEAMS, ENERGY STORAGE
6:30 PM-10:00 PM	DINNER AT OLD TOWN			
WEDNESDAY, June 8 8:00 AM-10:00 AM	XXV-SPARK GAPS II	*XXVI-TRANSMISSION LINES AND MODELING	*XXVII-SIMULATORS	XXVIII-OPTICALLY CONTROLLED DISCHARGES
10:00 AM-10:30 AM	REFRESHMENTS - THIRD FLOOR			
10:30 AM-12:15 PM	XXIX-COMPONENTS	XXX-ROTATING MACHINES R	XXXI-DIELECTRIC BREAKDOWN AND FLASHOVER	XXXII-DIFFUSE DISCHARGES
12:15 PM-1:30 PM	LUNCH			
1:30 PM-3:30 PM	XXXIII-PULSED POWER EDUCATION	XXXIV-LASER APPLICATIONS	XXXV-VACUUM/METAL VAPOR SWITCHING	XXXVI-EXPLOSIVE DRIVEN OPENING SWITCHES
3:30 PM-5:30 PM	POST- DEADLINE PAPERS			
THURSDAY, June 9	AFWL, LANL, AND SNLA TOURS			

*Session may extend 15 minutes into refreshment break

Fig. 1 Schematic diagram of PBFA-II

用い、その後のI. S. からPFL1へのSF₆ギャップは、UVレーザー光によりトリガされる。次に、炉用LIBドライバーの概念設計について述べた。イオンビームのエネルギー及び出力は、それぞれ0.33MJ, 11TWであり、イオンビーム伝搬中に、Banching効果を用いて出力を33TWまで増加させる。繰り返しは、5ppsであり、高繰り返し動作に伴う関連技術の開発が必要であろう。

3. ICF

このセッションでは、LANL(Los Alamos National Lab)の40TW CO₂レーザーシステム

AntaresとPBFAⅡ関係の報告があった。Antaresの報告は、H. Jansenよりなされたが、最近の実験及び計算機シミュレーションより、出力は、0.6ns動作で40kJ, 10ns動作で100kJが、予想される。10ns動作では、時間的に発振ラインを変えた、マルチライン動作を行ない、パルス波形制御を行なう。現在1ビームによるエネルギー取り出し実験、ターゲット照射システムを含む、システム全体の自動アライメント系の試験を完了しており、10月よりターゲット実験が、開始される予定である。Fig. 2に、Antaresの主増幅器の1モジュールを示す。中心に、電子銃が設置されており、外側の、12sectionの主

Fig. 2 Schematic diagram of Antares power amplifier

放電を制御する。

次に、高繰り返し動作電源として、SNLで開発されたRAVEN(5kJ, 1.5MV, Repetitive Pulser)の報告が、G. J. Rohweinによりなされた。この装置の特徴は、1:42のパルストランスを用いたことであり、1次電源の電圧を大幅に減少することで、10ppsまでの動作を可能にしている。ギャップでは、電極は水冷されており、空気注入法を用いている。試験は、5万shotまで行なわれたが、ギャップによりshot数は、制

Fig. 3 Schematic diagram of RAVEN

限された。この装置の構成図を、Fig. 3に示す。

PBFA II 関係では、36モジュールの同期に関する報告がなされた。Fig. 1のMarx動作、I. S. からPFLへのガスギャップ、PFLからPFL及びOutput lineへの水ギャップに要求されるジッターは、それぞれ10ns, 2ns, 及び1.5nsである。Marxでのジッターは、6MV, 400kJ電源DEMONを使って測定され6.4nsであった。ガスギャップには、UVレーザー光による、レーザートリガーが使われる予定である。

その他、SNLからSPEED (2.5TW, 1MV, 2.5MA, 20ns) 装置、及びUniv. of New Mexicoから、Inductive Acceleratorと、それを用いた炉設計に関する報告があった。SPEEDは、低インピーダンスを目指した装置であり、 $dt = 10^{14}$ A/Sの達成を考えている。この装置では、パルス整形ライン中に、Multi-Stage SF₆ Gapが使われており、この特性に関して詳しい報告があった。

4. Capacitor

LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory) から、ガラスレーザー用電源に関して報告があった。LLNLでは、大型ガラスレーザー用電源の開発を行ってきたが、そのポイントは、コストの低減、信頼性の向上、及び寿命に関してであった。100TW, 70kJレーザーNovaでは、8 MJ, 1MJレーザー Zeusでは、800MJの電源が必要である。大型レーザーではShot数が限られていることより、コンデンサーの寿命を短く設計することで大幅なコストの低減が可能であることが示された。Nova では 10^5 shot, Zeusでは 10^4 shotが、設計寿命であり、例えば、Zeusの電源では、2cent/Jouleが予想される。

AFWL (Air Force Weapons Laboratory) のSHIVA STAR に関する報告が、R. E. Reinovskyよりなされた。この装置の概要は、10MJのCapacitor bankのエネルギーを、10nHのインダクターに移すと同時に、Opening Switchを動作させ、負荷に、200nsの間にエネル

ギーを注入するものである。Opening Switchとしては、Alのヒューズを使っており、この動作特性、特にAlヒューズの初期温度の効果について、実験及び計算機シミュレーションの結果が示された。この装置は、X線の発生源としてまたライナー爆縮等の研究装置として使用されている。SHIVA という名前は、レーザー関係のものにとっては、LLNLのガラスレーザーの名前としてよく知られているが、R. E. Reinovskyによれば、一連のInductive Storage 装置の名前として、AFWLが、最初に使用したとのことである。

その他、Maxwell Laboratories, Inc. から、最近の高蓄積エネルギー密度コンデンサー技術の進歩、等が報告された。

5. Switches

この会議では、各種Switchに関するsessionが数多く組まれていた。比較的新しい技術と思われるplasma opening switchとmagnetic switchに関する報告を、ここでまとめる。

NRL (Naval Research Laboratory) のR. A. Megerより、plasma opening switchに関する、計算機シミュレーションと実験の結果が報告された。このswitchは、ヒューズ等に比較してより高速のswitching (~ 10 ns) が期待できる。炭素プラズマ (10^{14} /cm³) を用いた plasma opening switchが、NRLのGamble II (2MV, 1MA, 80ns) に使われた。2-3 倍の電圧上昇とパルス幅の圧縮が観測され、この実験結果は、計算機シミュレーションとよく一致した。初期には、plasma opening switchは、prepulse抑制用として開発されたが、plasma密度を増加することにより、大電流の高速switchingが可能となり、inductive storage と組み合わせたパルス圧縮技術の1つとして注目されている。

高繰り返し動作装置が、リアクターを目指して開発中であるが、高電圧の高繰り返しswitchが、大きな問題となっている。これを克服する1つの候補として、magnetic switchの研究が進められている。SNLから、magnetic switch

を使ったPFN電源(COMET)が報告された。COMETは、PBFAⅡの電源としても使用でき出力電圧、エネルギーは、それぞれ6MV、400kJである。magnetic switchでは、磁性体の磁気飽和現象を使っており、一般のswitchのような電極のアークによる消耗が、まったくなく、高速繰り返しが可能で、長寿命である。近年の磁性体の進歩により、Metglas alloyが開発された。これは、従来の磁性体に比べ非常に安価であり、しかも特性が、magnetic switchに適している。このMetglas alloyの出現により、magnetic switchの開発が急速に進んだわけであるが、今後、magnetic switchに伴うpre-pulseの抑制が、解決すべき大きな問題点である。

6. Diode

Diode関係では、AFWLから、ダイオードシミュレーションが、SNLから、PBFAⅠにおける、pinch reflex ion diodeの実験結果が、そして大阪大学から、inverse pinch reflex ion diodeの実験結果が、報告された。

ダイオードシミュレーションコードは、初めLANLで開発されたものであり、2次元、非定常、PIC(Particle-in-Cell)コードである。このコードを用いて、薄膜カソードからの電子ビームの発生、電子ビームのpinchの様子をシミュレーションしている。

SNLからは、PBFA-Ⅰにおける、イオンビーム発生実験の報告がなされた。低電圧(0.8MV)動作モードでは、prepulseが、大面積からのイオンビーム発生に有効に働らくこと、また高電圧(2MV)動作モードでは、prepulseなしに、26cm径のアノードからイオンビームの発生が観測されている。使用したダイオードは、pinch reflex ion diodeであったが、ダイオードパワーが9TWのとき、3TWのイオンビームの発生を得た、このときのイオンビームの変換効率は約30%である。イオンビームの発散角は、2-3°であり、イオンビームの集束を制限する主な原因になっている。

大阪大学からは、ReidenⅣ(1MV、1MA、50ns)において、新しく設計された inverse pinch reflex ion diodeの実験結果を示した。このダイオードでは、電子ビームの集束領域がないため、アノードプラズマは、各種の不安定性に対し安定であり、発散角の小さいイオンビーム発生が期待できる。Fig.4に、このダイオードの概略を示す。shadow boxにより測定さ

Fig.4 Schematic diagram of inverse pinch reflex ion diode

れた発散角は、2°であり、pinch reflex diodeの場合の4°程度に比べ大きく改善された。また、plasma opening switchを用いた、パルス圧縮実験の結果、1.6倍程度の電圧上昇を観測したが、これとともに、速い電圧の立ち上がりにより、イオンビーム発生空間的均一性が改善することが判明した。これらの実験結果は計算機シミュレーションの結果ともよく一致している。

その他、CO₂レーザーへの応用を目指した高繰り返し、3極方式電子ビーム装置等の発表があった。

7. あとがき

以上の他にも、mass driverやLaser application等、興味のあるsessionが多かったが、筆者が始めの2日間しか出席できなかった事、

またパラレル session で会議が進められた事により、聞けなかった session の方が多く、心残りである。この会議の後、筆者は、カナダで行なわれたレーザー核融合の国際会議への出席しその後カナダ・米国の慣性核融合研究の中心的な研究所を訪問した。これらを通じて、慣性核

融合用の大型装置が (LIB-SNL, PBFA II ; Glass Laser-ILE Osaka Univ., GEKKO XII & LLNL, Nova ; CO₂ Laser-LANL, Antares), ここ1—2年の内に動き始め, break even を目指し増々激しい競争が展開されるであろうと実感した。