

総論

Introduction to the Pulsed Power Science Technology

上野 勲*・林 宗明**

Isao Ueno Muneaki Hayashi

1. はじめに^{1)~5)}

通常パルスパワー技術という概念は、急峻な電気エネルギーの変化を制御する技術に対して用いられる。すなわち一般的には、時間的に緩やかに蓄積された電気エネルギーをパワーの高い電磁的パルスとして瞬時に放出し、その出力パルスを負荷に供給する技術を意味する。古くは電力系統の保護、強力なレーダの開発等との関連で研究されてきており、中心課題は高パワーのスイッチング技術の開発である。近年では核融合、特に慣性閉じ込め核融合関連の開発研究がパルスパワー技術開発の先導的役割を果たしているが、工業（あるいは軍事的）応用も拡がりつつあり、急速に技術開発が進展している。現在では、パルスパワーシステムから得られるピークパワーは100TW（1000億kW）のレベルに達しており、瞬時値ではあるがその値は日本の総発電容量の約600倍に相当する。

ところでパルスパワーを広義に解釈すると、その制御の対象は電力に限らず、広く放射（光、電磁波）、熱（圧力）、通動等のエネルギーにまで拡張できる。従っ

て、パルスパワー制御技術は、種々の形態のエネルギーの貯蔵、伝送と変換、及び負荷への時間的、空間的圧縮、集中に関する制御技術と考えることができる。本特集の企画に当たっても、このような考え方に沿って内容を構成した。ただし、その構成はパルスパワーの主要分野を公平に網羅するものではなく、従来の考え方にとらわれずに、むしろ主観的に新しい分野も取り上げていることをお断りしておく。

2. パルスパワーの一般的概念

一般的なパルスパワーシステムをエネルギー制御ループで示すと、図-1のように構成されている。

2.1 時間的圧縮

典型的なパルスパワーの制御シナリオは次のように表現できる。すなわち、まず比較的緩やかな時間尺度でエネルギーをエネルギー溜めに供給する。次に、十分蓄積された時点でスイッチを通じて急速にこのエネルギーを放出し、出力を負荷に伝送する。この際、スイッチに何らかのフィードバックがかかり、エネルギーの放出が加速される機構が介在する場合もある。電気

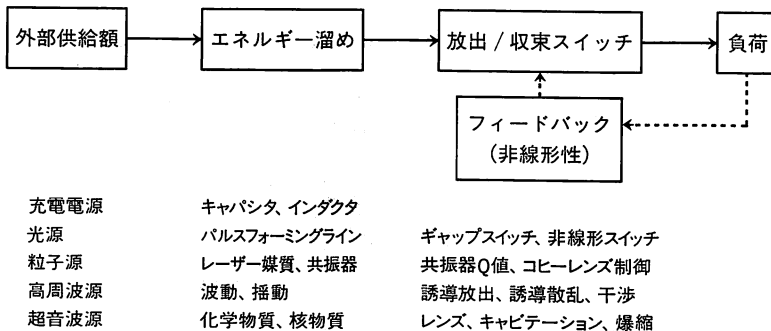


図-1 エネルギー制御ループ

* 東京大学工学部電気工学科・融合サイエンスグループ代表
〒113 東京都文京区本郷7-3-1
** 京都市立大学名誉教授

のパルスパワーの制御は、基本的にこのような経路をたどり、時間的に圧縮されたパワーの高い出力パルスが得られる。例えば、キャパシタをエネルギー溜めとし、出力スイッチに短絡スイッチを用いた回路は、簡単かつ典型的なパルスパワー回路である。キャパシタをレーザー媒質を含む光共振器、短絡スイッチを光学的スイッチに置き換えれば、パルスレーザー発振器と等価になる。

2.2 空間的集中

ところで、媒質中も含めて空間を伝搬する粒子あるいは光（電磁波）は、空間的広がりを局在化することによっても実効的にパワーを高めることが可能である。これも広義のパルスパワー制御の一部と考えることができよう。電磁的レンズは荷電粒子を、光学レンズは光を二次元的に収束し、高いパワー密度を生じる。

（超）音波も同様に収束可能である。

さらに、高エネルギー粒子やレーザー光のパルスビームの進行方向広がりを伝搬させつつ圧縮し、さらに短パルス化する種々の技術が開発されている。例えばレーザーの場合には、このような技術を駆使することにより、パルス幅では 10^{-14} 秒（10フェムト秒）以下、集光パワー密度としては 10^{18} W/cm²を越える光パルスが実現されている。

液体中の強力な超音波が生じるキャビテーションの収縮あるいは慣性閉じ込め核融合における燃料ペレットの爆縮も三次元的なパワー（圧力）の瞬時的集中である。

2.3 揺らぎの集中と干渉

確率的あるいは間欠的な現象が個々に無制御で生じていれば、その現象のある平均値はそれぞれの平均値

の単純な和となる。ただし、確率事象なので偶発的に異常に大きな、あるいは小さな値を示す揺らぎは存在し、その頻度は確率的に規定される。このような確率的独立現象を人為的に制御し、何らかの相関を与えることができれば、パワーの集中化を図ることができる。例えば、レーザーにより極めて短いパルスを生ずるモード同期は、共振器内の周波数が僅かに異なる多数のモード間の位相を同期させ、干渉を通じてパワーを集中する方法（うなりの一種）である。また、分光器に用いられる回折格子も、干渉により空間的に特定な方向に光を集中・回折する機能をもつ素子である。

レーザー発振の原理である誘導放出、あるいは強力なレーザー光のもとで生じる種々の非線形光学的な誘導現象もこのような過程に含めることができよう。

3. パルスパワーの応用分野

種々の形態のパルスパワー線源は多方面の分野でその活用が期待される。図-2にその応用分野とエネルギー領域を示す。同図は横軸にパルス当りの総粒子数（電荷量 単位 μC ; 10^{-6} クーロン）をとり、縦軸に1粒子当りのエネルギーを示したものである。この図で縦軸（Mev）と横軸（ μC ）の値を掛算するとその値は[J]の次元となりパルス当りの全エネルギーを示す。

(1) 非破壊評価

機器・構造物の健全性評価技術としての非破壊評価や材料の非破壊試験用線源のパルス当りのエネルギーは図-2の ~ 1 Jまでの領域で用いられる。

(2) レーザ励起

光通信、金属加工、医療等の一般的用途に応用され

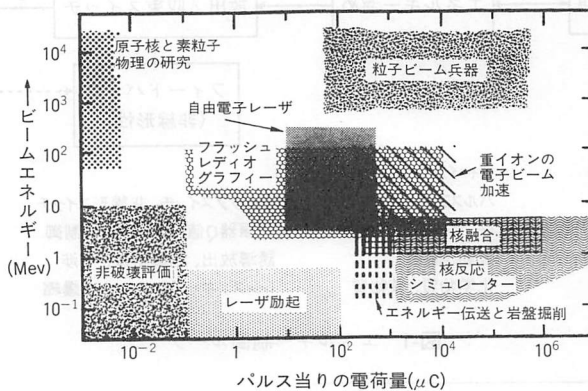


図-2 パルスパワーの応用分野とそのエネルギー領域

ているレーザ励起のエネルギーは図-2に見られるように $\sim 70\text{J}$ の領域にある。

(3) 原子核と素粒子物理の研究

原子核と素粒子（中性子・陽子等）を線源とするパルス当りの全エネルギーの領域は、同図の 0.05J ($50\text{Mev} \times 10^{-3} \mu\text{C}$) $\sim 1\text{kJ}$ ($2 \times 10^4\text{Mev} \times 5 \times 10^{-2} \mu\text{C}$) の領域であって、原子核、素粒子の研究のために各種の加速器が発達しており、これに伴って他の分野における応用も進展して来た。

(4) 岩盤掘削

この領域のエネルギーを計算すれば 30J (1.5×10^{-1}) $\times 18 \times 10^2 \sim 9\text{kJ}$ [9×10^3] となる。

(5) 自由電子レーザ

この種のレーザは波長可変で単一波長の大出力レーザとして、注目を集めている。この線源のパルス当りの自由電子レーザのエネルギーは $30\text{J} \sim 150\text{kJ}$ の領域にある。

(6) フラッシュ・レディオグラフィ

これは物性のリゾグラフィ、IC用マスクの焼き付け用か工業製品の検査等に用いられ、そのエネルギーは $2\text{J} \sim 1.5\text{MJ}$ の領域にある。

(7) 重イオンの電子ビーム加速

これはパルス重イオンビーム用の電子ビーム加速であって、この電子ビームに必要なエネルギーは $500\text{J} \sim 3.5\text{MJ}$ の領域である。

(8) 核融合

そのエネルギー領域は、 $300\text{J} \sim 5\text{MJ}$ にある。

(9) 核反応模擬 並びに粒子ビーム兵器

そのエネルギー領域はそれぞれ、 $130\text{J} \sim 60\text{MJ}$ 並びに $35\text{kJ} \sim 20\text{GJ}$ (GJ ; 10^9J) といわれる。

(10) 歯科治療

コンピューターを含む制御技術を駆使し、パルス状

のレーザを1秒間に $10 \sim 30$ 個程度発射して歯科治療に利用するものであり、歯を削っても痛みがなくいやな音もしない。また従来なら手術を要したような歯肉のはれなども手術なしに治るという、画期的治療法が開発されている。

4. おわりに

パルスパワー特集の総論としては些か不十分ではあるが、以下の各論の前書きとしたい。「パルスパワー技術」という言葉の響きは、単に古典的な「大電力制御技術」を現代風な言葉で置き換えたように思われるかもしれない。しかし、そこに内在する極めて高度な現象と技術及びそれらの集積、さらにはその技術が切り開く新しい領域に目を移せば、極めて将来性の高い普遍的な技術として期待できることがわかる。以下に述べられる各論を通じ、その一端に触れていただければ幸いである。

参 考 文 献

- 1) 上野; パルスパワー技術の開発とその将来 (第1部) 核融合; エネルギー・資源, 第5巻第1号, P16~25, 昭和59年1月
- 2) 上野; 同上, (第2部) 加速器増殖炉; エネルギー・資源, 第5巻第2号, P103~110, 昭和59年3月
- 3) 上野; パルスパワー科学技術の開発とその将来 (高輝度加速器に関するNATO高等専門家会議); エネルギー・資源, 第8巻第2号, P119~124 昭和62年3月
- 4) 上野, 林; パルスパワー技術の現状; 放電研究 No.116 P1~9, 昭和62年10月
- 5) 上野, 酒井; パルスパワー科学技術の開発とその将来 (II) (液体状態とその電気特性に関するNATO専門家会議); エネルギー・資源, 第9巻第2号, P132~137, 昭和63年3月