第 1 章

パルスパワー工学の基礎

パルスパワーの定義，パルスパワー工学の発展の経緯，さらに代表的なエネルギー蓄積方式である容量性および誘導性エネルギー蓄積回路を説明する。また，パルスパワー工学を学習する上で必要な電磁気学の基本的知識を整理する。

1.1 パルスパワー工学の概要

パルスパワーの定義

本講義で扱うパルスパワーはパルス状の電力（パワー）のことで，通常時間的空間的に高度に圧縮された状態を扱う。パワーはエネルギー:P とパルス幅:τ によって次のように定義される。

エネルギー E[J] がパルス幅 τ [s] に放出されたときのパワー P[W] は

$$P = \frac{E}{\tau} \tag{1.1}$$

パワー [W] ＝エネルギー [J]/時間 [sec] ＝電圧 [V] ×電流 [A] である。仮にエネルギーが小さくても，極めて短時間であれば極めて高いパワーが得られる。そうした概念として，図 1.1 がよく使われる。全世界の総発電容量は 10^{12} W と言われているが，パルスパワー分野で扱うエネルギーは 10^{14} W にもなり，その巨大さがわかる。なおそうした装置でのパルス幅は 10^{-8} sec 程度で，電圧ピークは 10^{6}〜10^{7} V 程度である。

エネルギーの蓄積形態には,

- 静電エネルギー (Electrostatic Energy)
- 磁気エネルギー (Magnetic Energy)
- 運動（回転）エネルギー (Kinetic (Rotation) Energy)
- 化学エネルギー (Chemical Energy)
- 位置エネルギー (Potential Energy)

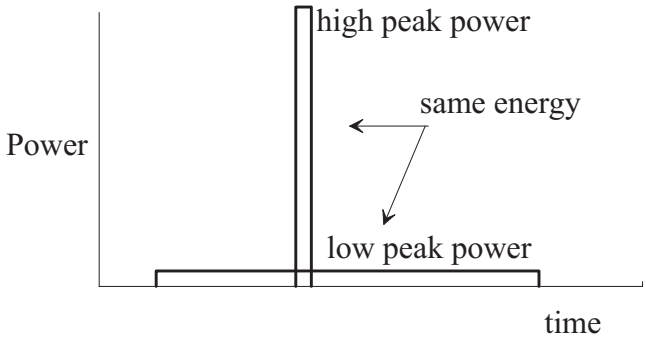

図 1.1　パルスパワーの概念

などがあるが，この講義では静電及び磁気エネルギーを含む，電磁エネルギーを主な学習対象とする。静電エネルギーはキャパシタを利用する容量性エネルギー蓄積（または静電エネルギー蓄積）として，磁気エネルギーはインダクタを利用する誘導性エネルギー蓄積として，次節で基本事項を述べる。

パルスパワー工学の歴史と分類

パルスパワー分野の発展を歴史的に振り返ると以下のような技術的なトピックスがある。

- 1925　マルクス回路 (Marx generator)
- 1945　コンデンサ放電
- 1965　ハイパワービーム発生
- 1985　磁気パルス圧縮回路付きエキシマレーザ用電源
- 1995　全固体電源
- 2000　マイクロパルスパワー

また研究分野別に大きく分類すると，次のようになる。

- 1960〜1970：　核融合・プラズマ分野
- 1980〜　　：　上記＋加工・材料分野
- 1990〜　　：　生物・環境分野

このようにパルスパワー技術は，核融合やパルスプラズマ，大強度ビーム発生などの分野で進歩し，次第に広範な分野で応用されるようになったことがわかる。現在では物質の合成や改質，空気浄化などの機器にも幅広く利用され，半導体プロセスプラズマでもパルス技術が取り込まれて，その性能向上に大きな役割を果たしている。代表的な装置名は以下の通りである。

Lasers, Precision Thrusters, Simulators (nuclear weapons effects simulators), S-ray generators, Precision /Localized Hardening of Metals, Micromachining, Magneforming, Shock forming, Particle accelerators, Fusion research, Detonators, Cigarette lighters, Communications, Radar, Acoustic Ranging, Lidar, Impulse welding, Magnetizing units, Electric guns, Toys, etc.

パルスパワー技術の特徴

さて，こうした新しい応用が次々に生み出されてきた背景には，パルスパワー技術が従来技術の延長線上ではないこと，つまりピーク電力が大幅に増加した事による新たな特徴が生まれるからである。以下に技術の特徴を整理する。

1. 簡単に極限状態を実現できる従来の延長線上にはない新しい技術
2. ナノ秒スケールの高電圧を負荷に加える技術
3. 極めて大きな電界強度とエネルギー密度で過渡，非線形現象

パルスパワー装置の構成

短パルス高電圧を１つの簡単な装置で発生させることはできないので，通常以下のようなシステムが必要になる。図 1.2 はその一例で，左から１次電源，エネルギー蓄積，スイッチ，パルス整形，インピーダンス整合などでシステムが構成され，最終的に負荷にパルス電力が供給されてる。

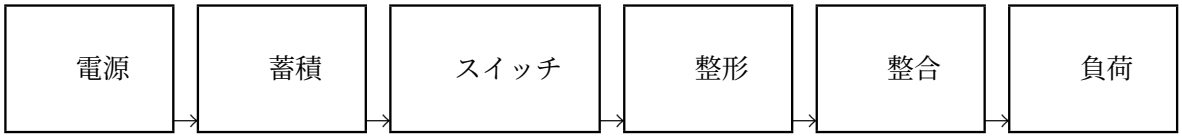

図 1.2　パルスパワー装置の構成

1.2　基本的な電気磁気学知識

A）　円柱導体回りの磁界

$$H_\phi = \frac{I}{2\pi r}$$

B）　同軸円筒導体の磁界

(1)　$r > b$：　$B_\phi = \dfrac{\mu I_{encl}}{2\pi r} = 0$

(2)　$a < r < b$：　$B_\phi = \dfrac{\mu I_{encl}}{2\pi r} \neq 0$

C）　並行平板の磁界

D）　点電荷による電界

E）　線電荷による電界

F）　並行平板のキャパシタンス

G）　同軸円筒のキャパシタンス

H）　並行平板のインダクタンス

I）　同軸円筒のインダクタンス

J）　並行平板のインピーダンス

K）　同軸円筒のインピーダンス

L）　同軸円筒内部の電界集中

M）誘電体と気体との電界分担

N）　表皮効果