

第1回の内容

- ・ 講義概要, 講義日程, 評価方法, 演習問題
- ・ エネルギーの分類とエネルギー消費量
- ・ 電力系統の概要,
- ・ 電力の発生: 発電電力量と発電方式, 負荷曲線
- ・ 電力伝送方式: 単相 2 線式, 3 相 3 線式
- ・ 電力伝送電圧と損失および送電電力量, 標準電圧

キーワード

エネルギー, パワー,
電力系統, 発電, 変電, 送電, 配電,
日負荷曲線, 電力伝送方式, 電力伝送電圧
交流送電, 直流送電, 単相, 3 相交流,
エジソン, テスラ, 周波数区分, 10 電力会社

第1章: 電力工学の概要

1.1 エネルギーの分類とエネルギー消費量

① 一次エネルギー (エネルギー資源, 天然資源)

太陽, 薪・木炭, 石炭, 石油, 天然ガス, 水力, 核燃料

② 二次エネルギー (消費段階でのエネルギー)

石油製品 (精製ガス, ガソリン, ナフサ, 灯油, 軽油, 重油, LPG),

都市ガス, 高炉ガス, コークス, 熱水・蒸気, 液化天然ガス (LNG), アルコール, 炭, 水素, 電力

1.2 日本における使用エネルギー

① 一次エネルギー

薪炭→石炭→石油→原子力・天然ガス

② 二次エネルギー

約 20% が電気エネルギー (民生部門*では 35%)

*一般家庭、一般消費者用。⇔業務用 ⇔軍事用

1.3 エネルギー使用量

・日本の家庭で一人当たり平均: 60 W

・日本全体: $60\text{W} \times 1.2 \times 10^8 \text{ 人} = 7.2 \times 10^9 \text{ W}$

・エネルギー換算: $7.2 \times 10^9 \times 3.2 \times 10^7 = 2.3 \times 10^{17} \text{ J/年} = 0.23 \text{ EJ/年}$ (EJ: エксаジュール, 10^{18})

・日本全体: 16 EJ, 家庭でのエネルギーは約 14%

・世界全体: 420 EJ, 世界の 3.8%

1.4 エネルギーとパワー

[Nm] = [J]

エネルギー: 外部に作用可能な仕事量

1 ワット[W] = 1 ジュール[J] / 1 秒[s]

パワー: 1 秒間に行われる仕事

1 カロリー[cal] = 4.2 J

熱量としての熱エネルギー

1 キロワット時[kWh] = $3.6 \times 10^6 \text{ J}$: 電力量

電気料金の算定など

1 エレクトロンボルト[eV] = $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

原子・分子の関与する現象

1.5 色々なパワー

人間 200~400 W

人間短時間 600~800 W

ごく短時間 2 kW

馬力 750 W (ホースパワー: HP)

太陽熱 1 kW/m^2 (日本の緯度で)

小型自動車 100 馬力 = 75 kW

ジャンボジェット 10 万馬力 = 75 MW

(H2A ロケット, 鉄腕アトム)

東京の最大電力 6,430 万 kW

$= 6.43 \times 10^{10} = 64.3 \text{ GW}$

(平成 13 年 7 月 24 日 (火))

日本の最大電力 164 GW

1.6 電力系統とは

電力系統とは、多数の発電所、送電線路、変電所、配電線路、負荷が連携されて一体として運用されているシステムのこと

1.7 電源別発電電力量

種類／年代	1980	2004	2014 予測
火力	17	10	10
天然ガス	15	26	22
石炭	5	24	20
石油等	46	10	6
原子力	17	29	41
地熱・新エネ	0	1	1
合計	4,850	9,705	10,556 億 kWh

1.8 日負荷曲線

1日の電力使用量の変化のこと。

- ・ベース供給力(自流式水力, 原子力, 石炭火力)
- ・ミドル供給力(LNG 火力, 石油火力)
- ・ピーク供給力(石油火力, 揚水式水力)

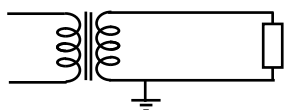
1.9 発電方式と特性

揚水式水力	急激な電力需要の変動, ピーク電力対応
調整池式・貯水池式水力	耐用期間で見ると経済性に優れる, ピーク電力対応
石油火力	運転コスト高い, 資本費安い, 時間転移の変動に対応
LNG, LPG, 他火力	運転コストは石油より安い, 資本費は石炭火力より安い,
石炭火力	運転コスト安い, 資本費高い,
原子力	運転コスト安い, 資本費高い, ベース電力
流れ込み式水力	燃料費ゼロ, 耐用期間で見ると経済性に優れる, ベース電力

1.10 電力伝送方式

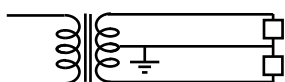
・単相 2 線式

電線数が少なく工事が低廉で簡単



・単相 3 線式

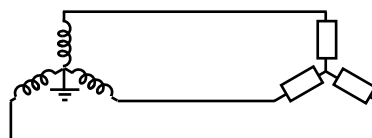
100V, 200V の電圧供給が可能



・3 相 3 線式:

単相 2 線式に対する利点:

- 同一電力・線間電圧→電線必要量(重量)が 3/4 ですむ(25%削減)
- 同一出力発電機よりも小型, 高性能
- 同一出力電動機よりも小型, 高性能
- 脈動の少ない直流を得やすい
- 単相交流も容易に得られる



* 電気学会大学講座 回路理論基礎 (柳沢 健著, オーム社:「線形回路」指定教科書, 以後回) 第 11 章を中心に学習して下さい。

抵抗損の比較

伝送電力 P ，伝送距離，受電端線間電圧 V ，抵抗損，負荷力率 $\cos\varphi$ ，電線材料は同じとする。

単相 2 線式での抵抗損：

$$2 \times I_1^2 R_1 = 2 \left(\frac{P}{V \cos\varphi} \right)^2 R_1 \quad (1.1)$$

3 相 3 線式での抵抗損：

$$3 \times I_3^2 R_3 = 2 \left(\frac{P}{\sqrt{3} V \cos\varphi} \right)^2 R_3 \quad (1.2)$$

(1.1) = (1.2) とおくことより， $\frac{R_1}{R_3} = \frac{1}{2}$ となる。

電線重量 W は $S\ell$ (断面積・長さ) に比例，長さ一定のため電線の抵抗は断面積に反比例する。

よって

$$\frac{W_3}{W_1} = \frac{3S_3\ell}{2S_1\ell} = \frac{3R_1}{2R_3} = \frac{3}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{4} \quad (1.3)$$

我国の低電圧回路は 3 相 3 線式(動力用)と単相 3 線式 100/200V，一般住宅へは単相 2 線式が主

各国の電源電圧と周波数：

国名	日本	アメリカ	ブラジル	イギリス	ドイツ	中国	タイ	エジプト
電圧 V	100	120	120/220	240	220	110/220	220/240	220
周波数 Hz	50/60	60	60	50	50	50	50	50

* 1 国 2 周波数は日本だけか？，関東-ドイツ-50Hz，関西-アメリカ-60Hz，周波数変換所
飛行機：115V/200V 3 相交流 400Hz の交流 (90kVA の発電機を 2 機)
(ボーイング 747、ボーイング 747-400、ボーイング 767、エアバス 300、エアバス 320)

1.11 電力伝送電圧の決め方

・電力[W] = 電圧[V] × 電流[A]

電力密度 = 電界 × 電流密度 - 磁界

$$\text{W/m}^3 \quad \text{V/m} \quad \text{A/m}^2 \quad \text{AT/m}$$

絶縁破壊 発熱 機械応力

・送電線における電力損失は電流の 2 乗に比例。

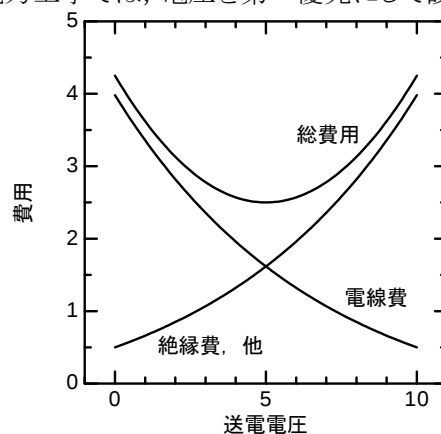
・送電電力 = 電圧 × 電流より，送電電力が同じ場合は高い電圧により損失低減が可能。

・長距離送電時の電力は $P = \frac{V_s V_r}{\omega L} \sin\theta$ であたえられるので，電圧の 2 乗に比例して送電電力増加

V_s 送電端電圧， V_r 受電端電圧， $\sin\theta$ 送受電端電圧の位相差， ω 周波数， L 送電線のインダクタンス

・送電電力と電線の抵抗損が一定のとき，線間電圧を上げる程，電線費は低下，電線支持物や機器の絶縁費は増加

・電力工学では，電圧を第一優先にして設計する



送電損失: 送配電損失率 = 需要端供給力 / 送電端供給力

国・事業者	東京電力	アメリカ	イギリス	ドイツ	フランス
損失率 (%)	4.8	7.0	8.7	4.6	6.8

公称電圧

3,300，6,600，…，154,00，… 275,000，…，
500,000V (100 万ボルトまで技術開発済)

送電能力

50 万 V (500kV) : 約 100 万 kW (基幹系統電圧)
27.5 万 V : 約 40 万 kW

1.12 直流送電と交流送電

・直流交流戦争: エジソンとテスラの戦い

エジソンが主張した交流の欠点は

- (1) 高圧送電は危険, 送電損失は直流よりも大きい (理由不明)
- (2) 交流では電動機が始動しない (誘導機ができていなかったため)
- (3) 直流でも 3 線式 5 千式にすれば送電容量の増加は可能

・テスラとスタンレーによる交流送電

- (1) 直流送電は電圧の変換が困難で大容量送電には不適
- (2) 交流は, 電圧の変換が容易
- (3) ウェスティングハウスは交流システムを採用し大規模送電を開始 (GE)
- (4) 多相交流の発明により交流の優位性が確定

現在の大容量直流送電

- ・電圧変換のため交直変換, 直交変換が必要
- ・長距離大容量送電に直流送電が使用される例
 - ー海底送電ケーブルに利用
 - ー新英仏連携 200 万 kW
 - ーブラジルーパラグアイ 600 万 kW

利点

- (1) 最大電圧に対する送電容量が交流よりも $\sqrt{2}$ 倍大きい
- (2) 導体の表皮効果が無く, ケーブル損失が小
- (3) 誘導障害がない
- (4) 系統の切り離しが可能 (交流ー直流ー交流)

1.13 日本の電気事業

- ・ 1882 年 (明治 15 年) 東京電燈会社設立, 石炭火力による 25kW のエジソン発電機でアーク灯点灯, 電灯の普及により 210 V・3 線式直流発電所が建設
- ・ 1884 年 (明治 17 年) 大阪電灯会社設立。トムソン・ヒューストン社製 60Hz・1150V の発電機購入により, 交流送電が開始 (明治 23 年)
- ・ 1888 年 (明治 21 年) 榎本武揚を初代会長とする電気学会設立

- ・1895 年 (明治 28 年) 東京電燈会社, 交流システムの採用を決定。ドイツの AEG 社製 50 Hz・3000 V・265 kW 発電機購入。周波数区分の発生。
- ・1923 年 (大正 12 年) 当時は電力会社が乱立し, 電気事業者数 738 社。
- ・1939 年 (昭和 14 年) 戦時体制下, 大型火力と推力発電所は日本発送電株式会社に吸収, 電力中央集権体制
- ・1945 年 (昭和 20 年) 日本発送電株式会社の解体と 9 電力会社が発足 (その後沖縄電力を加えて 10)