

第1回 電力・エネルギーと社会, 電力伝送方式

序章: 電力エネルギーと社会

0.1 エネルギー消費

エネルギーの大量消費→地球環境に影響; 京都議定書

エネルギーの有効利用と自然エネルギー源の開発

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

二次エネルギー: 消費される段階でのエネルギー

一次エネルギーそのものまたは別の形態

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, 香炉ガス, コークス, 熱水・蒸気, 液化天然ガス(LNG)

アルコール, 煉炭・豆炭, 水素, 電力

日本におけるエネルギー使用

一次エネルギーは, 薪炭→石炭→石油→原子力・天然ガス

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 ⇔軍費用

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, 1.2 億人→ $60 \times 1.2 \times 10^8 = 7.2 \times 10^9$ W

エネルギーに直すと $7.2 \times 10^9 \times 3.2 \times 10^7 = 2.3 \times 10^{17}$ J/年 = 0.23 EJ*/年

*EJ: エクサジュール, エクサ E は 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%

0.2 エネルギーとパワー

1ワット[W] = 1ジュール[J]/1秒[s]

1カロリー[cal] = 4.2 J

1キロワット時[kWh] = 3.6×10^6 J: 電力量

人間のパワー: 200~400 W (短時間 600~800 W, ごく短時間 2 kW)

馬力(ホースパワー: HP): ~750 W

太陽熱 1 kW/m² (日本の緯度)

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 = 6.43×10^{10} = 64.3 GW (平成 13 年 7 月 24 日 (火))

日本の最大電力 164 GW

第1章:電力系統のあらまし

1.1 電力の発生

電源別発電電力量

| パーセント | 1980 | 2004年 | 2014年予測 |
|-----------|-------|-------|---------|
| 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・新エネルギー | 0 | 1 | 1 |
| 合計億 kWh | 4,850 | 9,705 | 10,556 |

1日の電力使用量の変化:負荷曲線

ベース供給力(流れ込み式水力, 原子力, 石炭)

ミドル供給力(LNG, LPG, その他ガス, 石油)

ピーク供給力(石油, 調整池式水力, 貯水池式水力, 揚水式水力)

発電方式の比較

| 発電方式 | 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 |

1.2 電力伝送方式

単相2線式:図 1.1

電線数が少なく工事が低廉で簡単

3相3線式:図 1.2

単相2線式に対する利点

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

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 $\cos\phi$, 電線材料は同じ

$$\text{単相 2 線式での抵抗損: } 2 \times I_1^2 R_1 = 2 \left(\frac{P}{V \cos\phi} \right)^2 R_1 \quad (1.1)$$

$$\text{3 相 3 線式での抵抗損: } 3 \times I_3^2 R_3 = 2 \left(\frac{P}{\sqrt{3} V \cos\phi} \right)^2 R_3 \quad (1.2)$$

(1.1) = (1.2)より, $R_1/R_3 = 1/2$ となる。電線重量 W は $S\ell$ (断面積・長さ)に比例し, 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

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

単相 3 線式: 図 1.3

100V, 200V の電圧を供給, 小容量負荷は電圧線と中性線間, 中容量負荷(電動機や電熱器, エアコン)は両電圧線間に接続

単相 4 線式: 図 1.4

相電圧 E と線間電圧 $V = \sqrt{3}E$ の電圧が得られる。200V/400V 級の回路
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

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 は:

115V/200V 3 相交流 400Hz の交流 (90kVA の発電機を 2 機)

我が国では, 低電圧回路では 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

1.3 電力伝送電圧

送電線における電力損失は電流の 2 乗に比例する。送電電力は電圧×電流だから, 送電電力が同じ場合は電圧を上昇させることが得策である。

伝送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, 伝染し事物や機器の絶縁費は増加: 図 1.5

経済的な線間電圧を求める式:

$$V = 5.5 \sqrt{0.6\ell + \frac{P}{100}}$$

$$V = K \sqrt{\ell P} \quad p125 \text{ で導出 } 300\text{km}, 100 \text{ 万 kW}, \rightarrow V = K \times 1.7 \times 10^4 \text{ kV}$$

ℓ : 伝承距離[km], P : 3 相分伝送電力[kW], K : 定数

公称電圧

3,300, 6,600, …, 154,000, …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

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 |

仮に 100GW×0.5%より, 500MW(50 万 kW)

<直流交流戦争>

- ・ エジソンとテスラの戦いともいえる。エジソンが主張した直流送電は電圧の変換が困難で大容量送電には不適だった。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が開発した交流は, 電圧の変換が容易。ウエスティングハウスは交流システムを採用し大規模送電が開始された。さらに多相交流が発明され, 交流の優位性は確定された。